



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

PROGRAMA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**ZONIFICACIÓN E ÍNDICE DE SITIO PARA TECA (*Tectona grandis*
Linn F.) EN LA SUBREGIÓN DE LOS RÍOS, TABASCO.**

MATÍAS HERNÁNDEZ GÓMEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

2015

La presente tesis titulada: **ZONIFICACIÓN E INDICE DE SITIO PARA TECA (*Tectona grandis* Linn F.) EN LA SUBREGIÓN DE LOS RÍOS, TABASCO**, realizado por el alumno: Matías Hernández Gómez, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada por el mismo como requisito para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

POSTGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

CONSEJERO:

x


Dr. José Francisco Juárez López

ASESOR:


Dr. Lorenzo Armando Aceves Navarro

ASESOR:


Dr. Lenom Cajuste Bontemps

H. Cárdenas, Tabasco, México, 30 de Octubre, 2015.

ZONIFICACIÓN E INDICE DE SITIO PARA TECA (*Tectona grandis* Linn F.) en la subregión de los Ríos, Tabasco.

MATÍAS HERNÁNDEZ GÓMEZ

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

RESUMEN

La detección de áreas aptas para establecimientos de plantaciones forestales comerciales es una herramienta útil que ayuda a la toma de decisiones, proporcionando información espacial, basados principalmente en los requerimientos edafológicos y climáticos que la especie requiere. De igual forma, estimar la productividad de cada sitio, especialmente si son potenciales, ayuda a saber el volumen de madera esperada a determinada edad. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue determinar las zonas aptas y alturas a determinada edad, mediante factores edáficos, fisiográficos y climáticos para teca (*Tectona grandis* Linn f.) en la subregión de los Ríos, Tabasco. Se emplearon modelos digitales de elevación para cálculos de pendiente, altitud, y relieves y datos de normales climatológicas del Instituto de Tecnología del Agua. Con la aplicación de álgebra de mapas del software ArcGis (ESRI) se interactuaron las variables según los requerimientos de la teca, calificando las zonas donde la teca mejor se adaptará. Se encontraron 4 clases de aptitud. Las zonas altamente potenciales ocuparon el 0.5 %, las moderadamente potenciales el 55.5 %, las poco potenciales 40.5 % y las zonas que no se recomiendan para plantaciones forestales el 3.5 %, todo respecto al total de la superficie de la subregión de los Ríos. Para la estimación de la productividad referida a la altura de la teca, se realizó un índice de sitio con factores fisiográficos y climáticos, multiplicados mediante la ecuación: $IS = 109.416 - 1.709 * (DEFHID) + 1.095 * (PTOP) - 3.211 * (TMA)$ generando espacialmente la delimitación de 3 alturas diferentes. Las zonas donde se espera que la teca crezca menos de 15 metros de altura en 10 años ocupan una superficie

del 46 %, las zonas donde se esperan menos de 18 metros de altura ocupan el 47 % y las superficies donde se espera 21 m de altura o más un total de 6 %.

PALABRAS CLAVES: teca, *Tectona grandis*, índice de sitio, zonificación.

ZONING AND SITE INDEX FOR TEAK (*Tectona grandis* Linn F.) in the subregion of the Rivers, Tabasco.

ABSTRACT

The detection of suitable areas for the establishment of commercial forest plantations is a useful tool to help decision-making by providing spatial information, mainly based on soil and climate requirements for the species. Similarly, estimating the productivity of each site, especially if they are potential, it helps to know the expected volume of wood at a certain age. Therefore, the objective of this study was to determine the heights and suitable areas by age, edaphic, physiographic and climatic factors for teak (*Tectona grandis* Linn f.) In the subregion of the Rivers, Tabasco. Digital elevation models for calculations of slope, altitude, and reliefs and normal climatic data of the Institute of Water Technology were used. With the application of algebra ArcGIS mapping software (ESRI) variables were interacted as requirements for teak, evaluating the best areas where the teak will adapt. 4 kinds of fitness/aptitud were found. The highly potential areas occupied 0.5%, moderately potential 55.5%, 40.5% the less potential and areas that are not recommended for forest plantations 3.5%, all compared to the total area of the subregion of the Rivers. Generating spatially delimiting 3 different heights to estimate productivity refers to the height of teak, an index of physiographic site and climatic factors, multiplied by the equation:

$$IS = 109.416 - 1.709 * (DEFHID) + 1.095 * (PTOP) - 3.211 * (TMA)$$

The areas where teak is expected to grow less than 15 meters in 10 years covering an area of 46%, areas where less than 18 meters high are expected occupy 47% and surfaces expected 21 m or more in total 6%.

KEYWORDS: teak, *Tectona grandis*, site index, zoning

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme la vida y los conocimientos que he adquirido.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante mis dos años de maestría.

Al Colegio de Postgraduados, por ser una institución de calidad que me ha dado la oportunidad de cursar mi maestría en ciencias en el Programa de Producción Agroalimentaria del Trópico, Campus Tabasco.

A mi consejero, Dr. José Francisco Juárez López, por sus consejos, confianza y apoyo desde antes y durante mi maestría.

A mi asesor, Dr. Lorenzo Armando Aceves Navarro, por la paciencia y sus consejos sabios que ha tenido conmigo, así mismo, por las enseñanzas directas e indirectas adquiridas durante mi formación académica.

A mi asesor externo Dr. Lenom Cajuste Bontemps, por su apoyo incondicional que me ha brindado.

Al Dr. José Jesús obrador Olán, por su apoyo, su entusiasmo, sus consejos y la confianza que me ha brindado.

Al Dr. Armando Gómez Guerrero, del Campus Montecillos, por sus enseñanzas durante el curso de mi problema especial.

A la Teacher Juanita Pereyra Susan por la ayuda en la traducción del resumen.

A todo el personal académico y administrativo del campus Tabasco, por sus enseñanzas y atenciones durante mi formación académica.

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi esposa, a quien le tengo todo mi amor, quien ha estado conmigo siempre, quien ha sido mi apoyo incondicional, mi amiga, mi cómplice y amante. Siempre hermosa. A mi futuro hijo, quien me enseñara nuevas experiencias y nuevas formas de ver la vida. A mi familia por el cariño que siempre han tenido conmigo. Con amor y cariño para todos ustedes.

Me pierdo, pero me acuerdo...

CONTENIDO

COLEGIO DE POSTGRADUADOS	I
1. INTRODUCCION GENERAL	1
2. OBJETIVOS	2
3. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1 <i>Tectona grandis</i> Linn F.	3
3.1.1 Taxonomía	3
3.1.2 Descripción botánica	3
3.1.3 Distribución	4
3.1.4 Requerimientos climáticos	4
Cuadro 1. Requerimientos climáticos	4
3.1.5 Requerimientos edáficos	5
Cuadro 2. Requerimientos edafológicos	5
3.1.6 Requerimientos topográficos	6
3.2 Zonificación	6
3.3 Índice de sitio	7
3.4 Métodos de evaluación de calidad de sitio	8
3.4.1 Método indirecto	8
4. LITERATURA CITADA	10
CAPITULO I. DETERMINACIÓN DE ZONAS MUY APTAS PARA TECA (<i>Tectona grandis</i> Linn. F.) EN LA SUBREGIÓN DE LOS RÍOS, TABASCO.....	13
1.1 INTRODUCCIÓN.....	16
1.2 OBJETIVO	17
1.3 METODOLOGÍA.....	17
Figura 1. Localización de las subregiones del estado de Tabasco.....	18
Figura 2. Localización del área de estudio.	18
Figura 3. Modelo cartográfico: Procesos de aptitud según los requerimientos de la teca (<i>Tectona grandis</i> Linn F.).....	21
1.4 RESULTADOS	22
Figura 4. Mapa de aptitud climática.	23
Figura 5. Mapa de aptitud Fisiográfica.	24
Figura 6. Mapa de aptitud edafologica.	25
Figura 7. Mapa de aptitud edafoclimática.	26
1.5 DISCUSIÓN.....	27
1.6 CONCLUSIONES.....	27
1.7 LITERATURA CITADA.....	28

CAPITULO II. ÍNDICE DE SITIO CON BASE A FACTORES FISIOLÓGICO-CLIMÁTICO PARA TECA (<i>Tectona grandis</i> Linn F.) EN LA SUBREGIÓN DE LOS RÍOS, TABASCO.	31
2.2 OBJETIVO.....	35
2.3 METODOLOGÍA.....	36
Figura 8. Localización del área de estudio.	36
Cuadro 3. Forma de la topografía	38
2.4 RESULTADOS	40
Figura 9. Mapa de Índice de Sitio para Teca (<i>Tectona grandis</i> Linn F.) en la subregión de los Ríos, Tabasco, México.....	41
2.5 DISCUSIONES	42
2.6 CONCLUSIONES.....	43
2.7 LITERATURA CITADA.....	44

Índice de cuadros

Cuadro 1. Requerimientos climáticos	4
Cuadro 2. Requerimientos edafológicos	5
Cuadro 3. Forma de la topografía	38

Índice de figuras

Figura 1. Localización de las subregiones del estado de Tabasco.	18
Figura 2. Localización del área de estudio.	18
Figura 3. Modelo cartográfico: Procesos de aptitud según los requerimientos de la teca (<i>Tectona grandis</i> Linn F.).....	21
Figura 4. Mapa de aptitud climática.....	23
Figura 5. Mapa de aptitud Fisiográfica.	24
Figura 6. Mapa de aptitud edafologica.	25
Figura 7. Mapa de aptitud edafoclimática.....	26

Figura 9. Mapa de Índice de Sitio para Teca (*Tectona grandis* Linn F.) en la subregión de los Ríos, Tabasco, México..... 41

1. INTRODUCCION GENERAL

El gran valor ecológico que tienen los árboles se manifiesta en la constante demanda que las personas necesitan para hacer uso de esos recursos naturales. Toda masa forestal realiza funciones como la regularización del ciclo hidrológico, producción de madera, seguridad alimentaria, recreación, conservación de la biodiversidad, medios de vida, empleo y muchas otras cosas más. Para poder aprovechar los recursos de los bosques sin llegar a agotarlo, se necesita realizar un manejo forestal adecuado, sin embargo, el conocimiento sobre técnicas de manejo de los productos y servicios del bosque es bajo, llegando a tal grado a agotar los recursos (Sabogal *et al.*, 2013). Un estudio de caso se dio en el Estado de Tabasco, a partir del año 1962 con la implementación del Plan Chontalpa, donde se desmontó más de 40,000 ha de selva para producción agrícola y junto al programa rosa-tumba-quema la selva se vio directamente afectada (Flores, 1988). Para el 2006, Tabasco tan solo tenía poco más del 10 % de bosques y selvas de 24,731 km² de superficie total (POET, 2006). Ante esta deforestación local, una de las formas de establecer bosques es mediante plantaciones forestales que además desde un contexto social-económico favorece la sustentabilidad. Las especies a plantar es decisión del productor, por lo general son especies exóticas o introducidas ya que este tipo de especies rinde más metros cúbicos en poco tiempo lo que se traduce en mejores ganancias contra especies nativas (Martínez *et al.*, 2006). La Teca (*Tectona grandis* Linn F.) que es una especie introducida que produce madera de alta estabilidad dimensional independientemente de la edad del árbol, además de tener excelentes propiedades físico-mecánicas que ayuda a su fácil trabajabilidad (Blanco *et al.*, 2014). La presente investigación contestará la pregunta de “donde” establecer plantaciones de Teca y determinar espacialmente “cuanto” será su crecimiento mediante requerimientos edáficos, fisiológicos y climáticos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar clases de aptitudes edafoclimáticas para establecimiento de Teca (*Tectona grandis* Linn F.) en la subregión de los Ríos.

2.2 Objetivos específicos

Determinar zonas edafoclimáticamente muy aptas, aptas, marginalmente aptas y no aptas para establecer plantaciones de Teca (*Tectona grandis* Linn F.) en la subregión de los Ríos, Tabasco.

Determinar espacialmente la productividad de Teca (*Tectona grandis* Linn F.) mediante Índice de Sitio fisiológico-climático en la subregión de los Ríos, Tabasco.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 *Tectona grandis* Linn F.

3.1.1 Taxonomía

Reino:	Plantae
Sub-reino:	Tracheobionta
Division:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Famiales
Familia:	Verbenaceae
Género:	Tectona
Especie:	grandis
Nombre común:	Teca

3.1.2 Descripción botánica

Árbol de hoja caduca que presenta un fuste cilíndrico que puede alcanzar alturas mayores a 25 m cuando crece bajo condiciones favorables. Hojas elípticas y de una longitud de 30 a 60 cm. Esta especie brota de cepa vigorosamente y en ocasiones conserva esa capacidad incluso cuando ha alcanzado un gran tamaño. Comienza a florecer y producir semillas a una edad temprana, 20 años después de ser plantada y 10 años después del rebrote de cepa produciendo abundante semilla durante todos los años (Seth y Kaul, 1978). Sus flores son numerosas y se disponen en panículas erectas terminales; presentan un cáliz en forma de campana, de color amarillo verdoso con un estilo blanco amarillento con pubescencia de pelos ramificados. El ovario es ovado o cónico, densamente pubescente, con cuatro celdas. Los pedicelos miden de 0.9 a 4.5 mm de largo. Las brácteas son grandes, foliáceas con bractéolas numerosas (Chaves, 1991).

3.1.3 Distribución

Es originario del sur de Asia (India, Myanmar, República Democrática P. L. y T). Se ha adaptado al clima de java (Indonesia) y se ha establecido en toda la zona tropical de Asia, Africa Tropical y más reciente en America Latina y el Caribe (Weaver, 1993).

3.1.4 Requerimientos climáticos

Tolera gran variedad de climas pero crece mejor en condiciones tropicales moderadamente húmedas y calientes. Las variaciones de temperatura se reportan entre los 2 °C y 48 °C (Weaver, 1993) pero las temperaturas más óptimas están entre los 22° y 32 °C (FAO, 2007). Requiere una estación seca bien definida de tres meses mínimo y precipitación entre 760 y 5000 mm al año (Lamprecht, 1990). Bacilieri *et al.*, (1998) menciona que lo óptimo sería 4 meses secos con menos de 60 mm de precipitación y precipitación media anual entre 1250 a 3750 mm mientras que FAO (2007) recomienda entre 1200 a 3000 mm (Cuadro 1). La altitud no debe ser a más de 1300 msnm (Lamprecht, 1990) pero los mejores rendimientos se han encontrado a menos de 100 msnm (Chavez, 1991).

Cuadro 1. Requerimientos climáticos

	Optimo		Absoluto	
	Min	Max	Min	Max
Temperatura °C	22	32	2	48
Precipitación mm	1250	3750	760	5000
Sequia (meses)	4	4	3	7
Altitud msnm	0	100	1300	

3.1.5 Requerimientos edáficos

Varios autores coinciden con la descripción de los suelos que la teca necesita; Salazar (1974) menciona que la Teca demanda suelos aluviales profundos, bien drenados, porosos, fértiles especialmente los suelos ricos en Ca y Mg, Lamprecht (1990) y Briscoe (1995) menciona que los mejores desarrollo se dan en suelos franco-arenoso a arcillosos, fértiles, bien drenados, profundos y con un pH ligeramente ácido o neutro. No tolera suelos pocos profundo, compacto y mal drenado aunque resiste a inundaciones temporales. FAO (2007) puntualiza señalando específicamente que los suelos más óptimos deben ser profundos mayor a 150 cm, textura media, fertilidad alta, salinidad baja (<4 ds/m) y suelo bien drenado (cuadro 2).

Cuadro 2. Requerimientos edafológicos

	Optimo	Absoluto
Profundidad	Profundo (>150 cm)	Medio (50 – 150 cm)
Textura del suelo	Medio	Pesada a mediana
Fertilidad	Alta	Moderada
Toxicidad	No tóxicos	No tóxicos
Salinidad	Baja (<4 dS/m)	Baja (<4 dS/m)
Drenaje	Bien drenados	Bien drenados
pH	6 a 7.5	4.5 a 8.5

3.1.6 Requerimientos topográficos

De manera natural crece en cualquier tipo de topografía pero es limitado en topografía quebradas. Barros (1981) menciona que para plantaciones forestales los resultados de crecimiento de árboles dentro de una clase topográfica homogénea frecuentemente se asocian con diferencias en suministros de agua disponible, o atmósfera de suelo, o nutrientes de suelo, por ende, las propiedades de suelo que afectan la humedad, aireación y nutrientes en la zona de raíces, usualmente se relacionan con la calidad del sitio.

3.2 Zonificación

La zonificación es desarrollada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) a partir del año 1976 realizando sus respectivas actualizaciones hacia los años 1984 y 2007 bajo el nombre de ZAE; Zonificación agroecológica. En 2012, la FAO en colaboración con el Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA) realizó la última actualización de la ZAE perfeccionando la metodología de la zonificación agroecológica mundial ahora con el nombre de GAEZ 3.0. La metodología de zonas agroecológicas de la FAO es la herramienta primaria utilizada para la evaluación de los recursos de la tierra (IIASA/FAO, 2012).

GAEZ v. 3.0 permite realizar una planificación basada en los conocimientos del recurso, las demandas de los usos sobre esos recursos y la interacción entre las tierras y los usos de las mismas. De esta manera toma en cuenta los factores limitantes como el clima, el suelo y fisiografía, variables importantes que determinan el potencial del cultivo. Da Silva y Azevedo (2000), mencionan que la zonificación agrícola permite a partir del conocimiento de las variables climáticas y de su espacialización por medio de los sistemas de información geográficos (SIG), definir regiones de aptitud climática y épocas más adecuadas para siembras. Sánchez (1999) menciona que la zonificación es una herramienta útil para la programación de nuevas tierras. CONAFOR (2013) realiza zonificaciones forestales basadas en la

ZAE dividiendo la superficie de la tierra en unidades más pequeñas que tienen características similares relacionadas con la aptitud de la tierra, la producción potencial y el impacto ambiental y que tienen un rango específico de limitaciones y potenciales para el uso de las tierras, es decir, La Zonificación se refiere a una clasificación de tierras en unidades más pequeñas, que comparten iguales o similares características ecológicas o requerimientos ambientales más adecuados para el desarrollo óptimo, en este caso, de plantaciones forestales.

3.3 Índice de sitio

El sitio es un área capaz de producir bosques o vegetación. Es la interacción entre condiciones bióticas, climáticas y edáficas, es decir, al complejo de factores bióticos y abióticos.

La calidad de sitio se entiende por la combinación e interacción de los factores bióticos y abióticos con la vegetación existente y se estima como la máxima cosecha de madera o biomasa que un bosque produce en un tiempo determinado, es decir, la productividad del bosque (Alfaro, 1983). Vásquez y Ugalde (1994) definen la calidad de sitio como la capacidad productiva de un bosque siendo el resultado de la interacción de los factores ambientales como fisiografía, suelo, clima y vegetación existente. La medición de la calidad del sitio comúnmente se hace a partir del índice de sitio.

El índice de sitio se basa en la altura dominante de un rodal porque es una de las variables menos afectadas por cambios en la densidad y por tratamientos silvícolas, además, tiene una alta correlación con el volumen total siendo un indicador de la producción fácil de evaluar (Clutter *et al.*, 1983). Es “la estimación de la altura que los árboles dominantes (100 árboles más altos por hectárea) de una plantación coetánea alcanzan a una edad en particular, denominada como edad base” (Alfaro 1983). Mendoza (1993) menciona que el índice de sitio representa los lugares más fértiles para producir árboles de mayor tamaño a cierta edad base en contraste con

sitios menos fértiles. Mientras que Herrera y Alvarado (1998) lo definen como la “expresión de la calidad de sitio”, basada en la altura dominante. Siendo así un indicador de la productividad, atributo fijo y estable a lo largo del tiempo en un rodal (Pretzsch, 2009).

3.4 Métodos de evaluación de calidad de sitio

En la clasificación de sitios, existe una serie de métodos para determinar la calidad de un sitio. Cluter *et al* (1983), divide estos métodos en directos e indirectos. El método directo implica mayor costo y se utiliza para clasificar sitios con plantaciones ya existentes, basado en información histórica de la plantación, como su rendimiento en volumen y el desarrollo en altura dominante (índice de sitio) (Vásquez y Ugalde, 1994). El segundo método se desarrolla utilizando factores que afectan el crecimiento de la especie.

3.4.1 Método indirecto

El método indirecto, consiste en clasificar los sitios donde aún no existen plantaciones, el cual toma en cuenta el clima, factores fisiográficos y aspectos edáficos (Chaves, 1991). Comúnmente el índice de sitio es el que más se utiliza para relacionar las características climáticas, fisiográficas y edáficas en diferentes sitios. El método indirecto se puede utilizar para clasificar sitios una vez conocido el índice de sitio y determinar las relaciones con las características climáticas, fisiográficas y edáficas en diferentes sitios. Este método tiene la ventaja de que una vez conocidas las variables más relacionadas con el índice de sitio, permite con cierta confiabilidad determinar la calidad de un sitio donde se desea plantar, antes de establecer la plantación (Vásquez y Ugalde, 1994).

Existen muchos trabajos desarrollados en varios países y para diferentes especies, utilizando el método indirecto para la clasificación de sitios. Vallejos (1996), presenta

en su trabajo, un resumen de la mayoría de investigaciones relacionadas con la determinación de la calidad de sitio.

4. LITERATURA CITADA

- Alfaro M. 1983. Relación entre factores edáficos e índice de sitio para *Cupressus lusitánica* (Mill) en el valle central, Costa Rica. UCR CATIE, Costa Rica. 132 p.
- Bacilieri, R.; Alloysius, D. y Lapongan, J. 1998. Growth Performance of Teak. *In* Proceeding of the Seminar on High Value Timber Species for plantation Establishment-Teak and Mahoganies, 1-2 December 1998. Tawau, Sabah. 27-34 p. (JIRCAS Working Report no. 6)
- Barros, F. de N. 1981. Algunas consideraciones sobre relaciones entre sitio y suelo en los neotrópicos. *In* IUFRO/MAB/Servicio Forestal, Simposio / (1980, Río Piedras, Puerto Rico) / Producción de madera en los neotrópicos vía plantaciones. / Redactado por J.L Whitmore / Río Piedras, Puerto Rico, / IUFRO/MAB/Servicio Forestal / 133-144p.
- Blanco, F. J., Trugilho, P. F., Lima, J. T., Hein, P. R. G., & Silva, J. R. M. D. (2014). Caracterización de la madera joven de *Tectona grandis* L. f. plantada en Brasil. *Madera y bosques*, 20(1), 11-20.
- Briscoe, C.B. 1995. Silvicultura y manejo de teca, melina y pochote. CATIE / MADELEÑA. Serie técnica. Informe técnico No. 270. Turrialba, C.R. 43 p.
- Chaves, e.; Fonseca, W. 1991. Teca: *Tectona grandis* L. f., especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 179. 47 p.
- Clutter, J. L., J. C. Forston, L. V. Pienaar, G. H. Brister, and R. L. Bailey. 1983. Timber Management: A Quantitative Approach. John Wiley & Sons, Inc. New York. 333 p.

- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), 2013. Manual de Zonificación Ecológica de Especies Forestales y Aplicación de Modelos de Simulación del Efecto del Cambio Climático. P. 136
- Da Silva, G.B. y P.V. Azevedo. 2000. Potencial edafoclimático da “Chapada Diamantina” no estado da Bahia para cultivo de Cítrus. *Rev. Brasileira de Agrometeorología* 8: 133-139.
- FAO, (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2007. Ecocrop I. [En línea] < <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/dataSheet?id=2054> > [Consulta: 15/01/2015].
- Flores, S. A. 1988. La modernización de la agricultura en el trópico húmedo mexicano: veinte años de experiencia en la Chontalpa, Tabasco. Centro regional Universitario del sureste de la Universidad Autónoma Chapingo, Teapa, Tabasco, México.
- Herrera, B; Alvarado, A. 1998. Calidad de sitio y factores ambientales en bosques de Centro América. San José, CR. *Agronomía Costarricense*. 22(1): 99-117p.
- IIASA/FAO, 2012. Global Agro-ecological Zones (GAEZ v3.0). IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy. 196 p.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Traducido por Antonio Carrillo. GTZ. Eschborn. 335 p.
- Martínez, R. R., Rivero, H. S. A., Alcalá, V. M. C., y Espinoza, M. G. (2006). Importancia de las plantaciones forestales de Eucalyptus. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 2(3), 815-846.
- Mendoza, B., M. A. 1993. Conceptos básicos de Manejo Forestal. UTEHA NORIEGA EDITORES. México. 161 p.
- POET, 2006. Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado de Tabasco. *Secretaría de Desarrollo Social y Protección al Ambiente*, P 179.

- Pretzsch, H. 2009. Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model. Springer. Berlin, Germany. 664 p.
- Sabogal, C; Guariguata, MR; Broadhead, J; Lescuyer, G; Savilaakso, S; Essoungou, N; Sist, P. 2013. Manejo forestal de uso múltiple en el trópico húmedo; oportunidades y desafíos para el manejo forestal sostenible. FAO Forestry Paper No. 173. Roma, Italia, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura / Bogor, Indonesia, Centro Internacional de Investigación Forestal.
- Salazar F., R. y A. Waldemar. 1974. Requerimientos edaficos y climaticos para *Tectona grandis*. Turrialba. 24(1): 66-71.
- Sánchez C. J. 1999. Agroclimatología. Innovación Tecnológica. Caracas, Venezuela.
- Seth, S.K.; Kaul, O.N..1978. Tropical forest ecosystems of India: the teak forests. Paris, France, UNESCO. p. 628 – 640.
- Vásquez, W; Ugalde, L.A. 1994. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea* Roxb., *Tectona grandis* L.F., *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Informe final, Convenio de Cooperación Proyecto Forestal Chorotega (IDA/FAO). Proyecto Madeleña-3. Turrialba, CR. 132p.
- Weaver P. L. 1993. *Tectona grandis* L.f. Teak. SO-ITF-SM-64. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 18 p.

CAPITULO I. DETERMINACIÓN DE ZONAS MUY APTAS PARA TECA (*Tectona grandis* Linn. F.) EN LA SUBREGIÓN DE LOS RÍOS, TABASCO.

Determinación de zonas muy aptas para Teca (*Tectona grandis* Linn. F.) en la subregión de los Ríos, Tabasco

Matías Hernández Gómez

Colegio de postgraduados

RESUMEN

Dentro de las plantaciones forestales en México, 61 % pertenecen a especies maderables, siendo la teca (*Tectona grandis* Linn. F.) la que ocupa el tercer lugar en superficie, con 25,300 ha. Desde el 2001 las plantaciones forestales de teca en México empezaron a aumentar de superficie. Para el 2014, en Tabasco se registró una superficie de 7,268 ha ocupando el segundo lugar después de Campeche. La expansión se debe a que la teca presenta mayor valor financiero en menos tiempo, comparado con otras especies de maderas preciosas. Se sabe que el éxito de la producción depende inicialmente de la correcta elección del sitio de establecimiento de la plantación, siendo la zonificación forestal el mejor método para la elección de nuevas tierras. Así, el objetivo del presente estudio fue aplicar la zonificación forestal para determinar las zonas muy aptas para el establecimiento de plantaciones de teca en la subregión de los Ríos, Tabasco. Se generaron mapas climáticos, fisiográficos y edafológicos en formato raster para reclasificar los valores del pixel y mediante álgebra de mapas establecer las zonas muy aptas con base a los requerimientos edafoclimáticos de la teca. Los resultados muestran que en la subregión de los Ríos hay 3,309 ha muy aptas para establecimiento de teca. Además, se determinó que existen 336,275 ha aptas que pueden convertirse en muy aptas aplicando técnicas de drenaje y fertilización.

Palabras clave: *Tectona grandis* L.f., Zonificación, plantaciones, subregión de los Ríos.

Determination of highly suitable areas for Teak (*Tectona grandis* L. f.) In the subregion of the Rivers, Tabasco.

Abstract

Within forest plantations in Mexico, 61% are timber species, with teak (*Tectona grandis* L. f.) Which is third in area, with 25,300 ha. Since 2001 forest teak plantations in Mexico began to increase in size. By 2014 an area of 7,268 ha was recorded in Tabasco ranking second after Campeche. The expansion is due to the teak has greater financial value in less time, compared with other species of precious woods. It is known that initially successful production depends on the correct choice of the site of plantation establishment, forest zoning remains the best method for the election of new land. Thus, the objective of this study was to apply the forest zoning to determine very suitable for the establishment of teak plantations in the subregion of the Rivers, Tabasco areas. Weather maps, physiographic and soil were generated in raster format to reclassify pixel values with map algebra and establish the very suitable areas based on soil and climate requirements of teak. The results show that in the subregion of the rivers there are 3,309 ha very suitable establishment of teak. In addition, it was determined that there are 336.275 ha that can become very suitable applying drainage and fertilization techniques.

Keywords: *Tectona grandis* Lf, Zoning, plantations Subregion Rivers.

1.1 INTRODUCCIÓN

Hasta el 2010 se estimó un total de 4 mil millones de hectáreas de bosques en el mundo, de las cuales 264 millones pertenecían a bosques plantados, es decir, el 6.6 %. De la cifra anterior, China ocupa el primer lugar con más de 77 millones de hectáreas, mientras que México no figura en ninguno de los 10 primeros lugares (FAO, 2010). De las plantaciones forestales comerciales en México, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2014a,b) tiene registradas un total de 289,727 ha donde el 61 % pertenece a especies maderables. Los principales cultivos son de cedro, (*Cedrela odorata*), eucalipto (*Eucalyptus spp*), teca (*Tectona grandis*), gmelina (*Gmelina arbórea*) y pino (*Pinus spp*) con superficies de 36.3, 32.4, 25.3, 24.1 y 23.9 miles de hectáreas respectivamente (CONAFOR, 2014c). Estas cifras apenas alcanzan el 2 % del potencial productivo forestal que tiene México (FAO-CP, 2005).

En el sureste de México, a partir del año 2001, la teca empezó a popularizarse aumentando la superficie año con año hasta llegar en el año 2009; en la categoría de un año de edad, a una superficie de 1,952 ha (Velázquez, 2009). Para 2014 se registró en el estado de Tabasco un total de 7,268 ha de teca, ocupando el 28.7 % respecto al nacional, posicionándose después de Campeche, en el 2º lugar nacional como productor de teca (CONAFOR, 2014d). Esta tendencia se debe a que la especie presenta uno de los mercados de mayor valor financiero en el mundo. Según el rendimiento estimado, al turno técnico de 20 años (Pérez y Kanninen, 2005) se espera un total de $177.4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de fuste con corteza; mientras que otras especies de maderas preciosas como cedro (*Cedrela odorata*) con el mismo tiempo se estima en $106 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, logrando hasta su turno técnico de 25 años $111.2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Velázquez, 2009).

Además del rápido crecimiento y alto rendimiento que presenta la teca, también se considera como madera preciosa, porque es pesada y de buena calidad, alcanza un 82 % de duramen y 18 % de albura, así como un marcado contraste en color entre ambas. Generalmente no presenta agrietamientos ni deformaciones, posee una estabilidad dimensional y se le compara con el roble (*Quercus alba*) en cuanto a resistencia (Castro, 2000).

Por lo anterior, las plantaciones forestales comerciales de teca son una alternativa ambientalmente sostenible, económicamente rentable y técnicamente viable siempre que se tome en cuenta que el éxito de la producción depende inicialmente en la correcta elección de los sitios donde se establecen las plantaciones. La zonificación forestal es una herramienta útil para la elección de nuevas tierras que van a estar bajo éste cultivo, proporcionando información espacial, basados principalmente en los requerimientos edafológicos y climáticos de la especie (Da silva y Azevedo, 2000).

1.2 OBJETIVO

El objetivo de la presente investigación es determinar la aptitud de la subregión de los Ríos, Tabasco, para establecer plantaciones forestales de teca (*Tectona grandis* L. f.)

1.3 METODOLOGÍA

1.3.1 Área de estudio

El sitio de estudio se localiza en la subregión de los Ríos, uno de las cinco subregiones que tiene el estado de Tabasco (Figura 1). La subregión de los Ríos se integrada por los municipios de Balancán, Tenosique y Emiliano Zapata. Se encuentra entre las coordenadas geográficas 18°11'53.32" N con 91°49'30" O y 17°14'56" N con 90°59'7" O (Figura 2).

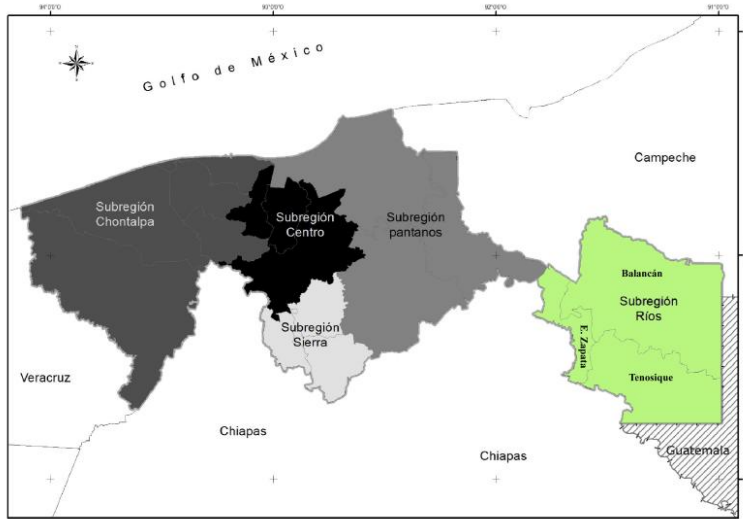


Figura 1. Localización de las subregiones del estado de Tabasco.

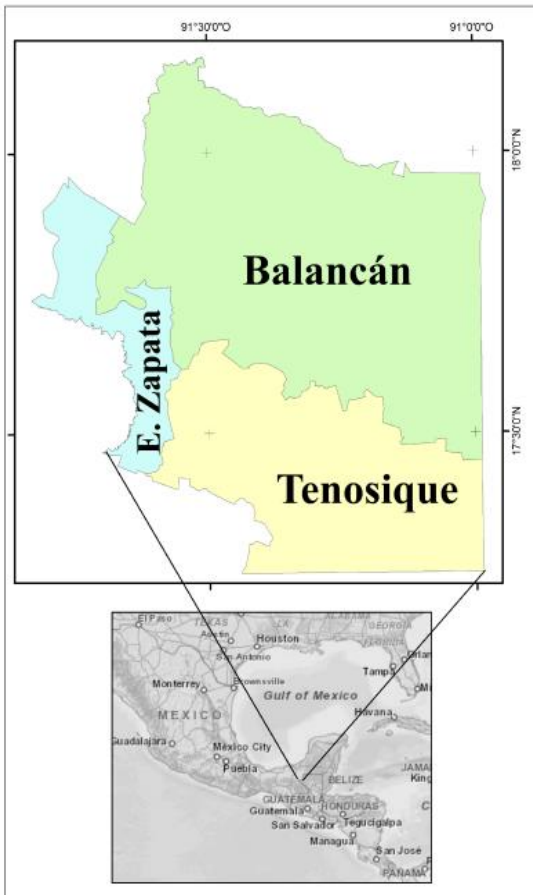


Figura 2. Localización del área de estudio.

1.3.2 Condiciones climáticas y edáficas

El clima que predomina es cálido húmedo y una parte al Este del estado es cálido subhúmedo (INEGI, 2015). Tiene temperaturas medias de 32.4 °C (máxima) y 21.2 °C (mínima). La precipitación total anual va desde los 1,550 hasta los 2,334 mm (IMTA, 2009). La fisiografía está compuesta por zona sierra, lomeríos, vega de río, calcáreas y llanura de aluvial (Palma *et al.*, 2007).

Los grupos de suelos predominantes en la región son Vertisoles, Leptosoles, Luvisoles, Lixisoles, Fluvisoles, Gleysoles, Cambisoles, Acrisoles, Arenosoles, Calcisoles, Ferralsoles y Histosoles (Jiménez, 2013).

1.3.3 Materiales

Para el análisis espacial se utilizó un software en Sistemas de Información Geográfica (SIG) llamado ArcGIS v. 10 (ESRI, 2011). Se utilizaron cartas edafológicas, de pendiente, altitud, orientación del sol, precipitación y temperatura a escala 1:250,000.

1.3.4 Determinación de aptitud del sitio

Se utilizó la metodología propuesta por el IIASA/FAO (2012) y CONAFOR (2013) para determinar aptitud. Ésta se basa en la división de áreas más pequeñas con características agroecológicas similares, óptimas para el desarrollo de teca (*Tectona grandis* Linn F.).

Se realizó un análisis bibliográfico del cual se obtuvo información de los requerimientos climáticos para la teca. La FAO (2007), menciona que las temperaturas óptimas oscilan entre una máxima de 32 °C y una mínima de 22 °C y que requiere una precipitación total anual entre 1,200 mm a 3,000 mm. Autores como Chávez y Fonseca (1991) reportan como óptimos, datos de temperatura media anual

entre 22 °C y 28 °C y una precipitación total anual entre 1,250 a 2,500 mm. En Costa Rica, Schimincke (2000), reporta que la teca crece bien con precipitaciones arriba de los 3,500 mm.

En cuanto a fisiografía, la teca se adapta bien a altitudes menores a los 1,500 m. Sin embargo, las altitudes óptimas están por debajo de los 200 m y las pendientes no deben de exceder al 40 %, siendo las óptimas menores a 20 % (Vaides, 2004).

Los mejores suelos para teca son aquellos con una profundidad mayor a 150 cm, fertilidad alta, bien drenados, salinidad <4 ds/m y textura media (FAO, 2007). Por su parte Vaides (2004), no reportó diferencia significativa en variables de materia orgánica, CIC, CICE y textura, aunque en pH puntualiza valores óptimos entre 5.5 y 7.0.

1.3.5 Elaboración de cartografía

Se generó el mapa climático con base a 23 puntos con datos analizados de precipitación y temperatura. Para ello se utilizó el Extractor Rápido de Información Climatológica ERIC III 2.0 (IMTA, 2009) complementado por los datos reportados por García (2004). Utilizando interpolación por el método de Kriging, se obtuvieron valores calculados de isoyetas e isotermas que se convirtieron a formatos raster para reclasificar los valores del pixel según los requerimientos de la teca, de modo que las clases de muy apto, apto, marginalmente apto y no apto, se le asignaron los valores de 1, 2, 3 y 0, respectivamente. Utilizando algebra de mapas, se multiplicaron las isoyetas por las isotermas de la nueva reclasificación.

De acuerdo a la metodología de CONAFOR (2013) se utilizaron datos de altitud y pendiente para caracterizar la fisiografía. La calificación de la fisiografía para teca, fue el resultado de la reclasificación y multiplicación entre altitud, pendiente y exposición según los valores requeridos para teca. La fisiografía se determinó a partir del Modelo Digital de Elevación de Alta Resolución LiDAR tipo terreno, con pixeles de 30 metros. (INEGI, 2012).

Para la cartografía edafológica se utilizó la información vectorial de suelos de Palma *et al.*, (2007) modificado por Jiménez (2013). Tomando en cuenta las necesidades edáficas de la teca, se calificaron las subunidades según sus propiedades físicas y químicas. Posteriormente se realizó la conversión de vector a ráster para su reclasificación según sus aptitudes finales.

La calificación final de aptitudes se determinó multiplicando las variables; clima, fisiografía y suelo con ayuda de la herramienta algebra de mapas (Figura 3).

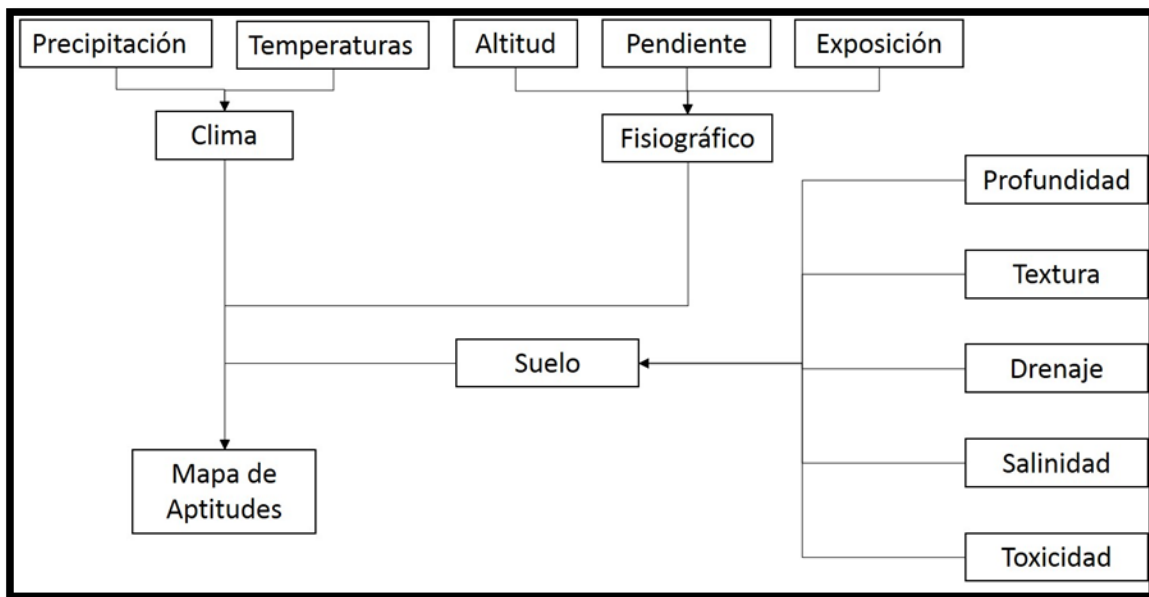


Figura 3. Modelo cartográfico: Procesos de aptitud según los requerimientos de la teca (*Tectona grandis* Linn F.).

1.4 RESULTADOS

En la subregión de los Ríos, climáticamente se obtuvieron dos clases de aptitud. El 51 % de la superficie corresponde a zonas muy aptas con 306,333 ha y el 49 % a zonas aptas con 299,450 ha (Figura 4). Fisiográficamente se obtuvieron tres clases. Zonas muy aptas con 94 % (571,386 ha), aptas con el 5 % (31,207 ha) y marginalmente aptas con 1 % (3,189 ha, Figura 5).

Edafológicamente se obtuvieron cuatro clases. Los suelos muy aptos fueron los Fluvisoles y Luvisoles que ocuparon el 6.2 % del total de la superficie de la subregión. Esto corresponde a 37,720 ha. Los suelos aptos fueron principalmente, los Cambisoles, Acrisoles, Calcisoles, algunos Luvisoles y Vertisoles. Cubrieron una superficie de 303,806 ha (50.2 %). Las zonas marginalmente aptas fueron los Gleysoles, Histosoles, Leptosoles y Lixisoles con 243,140 ha (40.1 %) y las zonas no aptas con 21,116 ha (3.5 %) fueron principalmente los cuerpos de agua, áreas urbanas y zonas muy escarpadas (Figura 6).

El resultado final de todas las multiplicaciones de las variables anteriormente mencionadas, permitieron determinar cuatro clases de aptitudes de zonas edafoclimáticas. Las áreas muy aptas, ocuparon una superficie de 3,309 ha (0.5 %). Las áreas aptas con 336,275 ha (55.5 %), las zonas marginalmente aptas con 245,162 ha (40.5 %) y las zonas no aptas, que no se recomiendan para plantaciones de teca con 21,034 ha (3.5 %) (Figura 7).

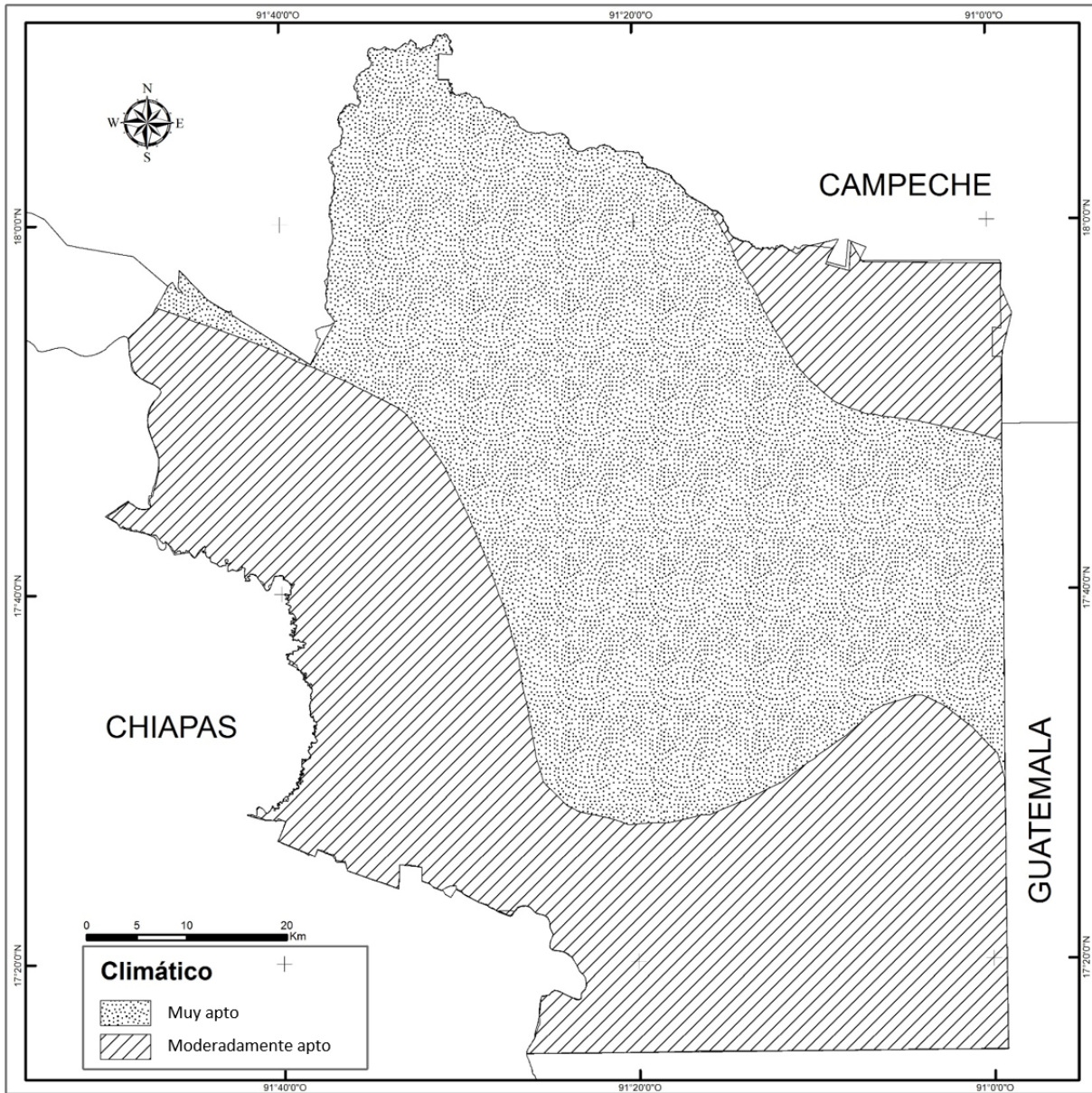


Figura 4. Mapa de aptitud climática.

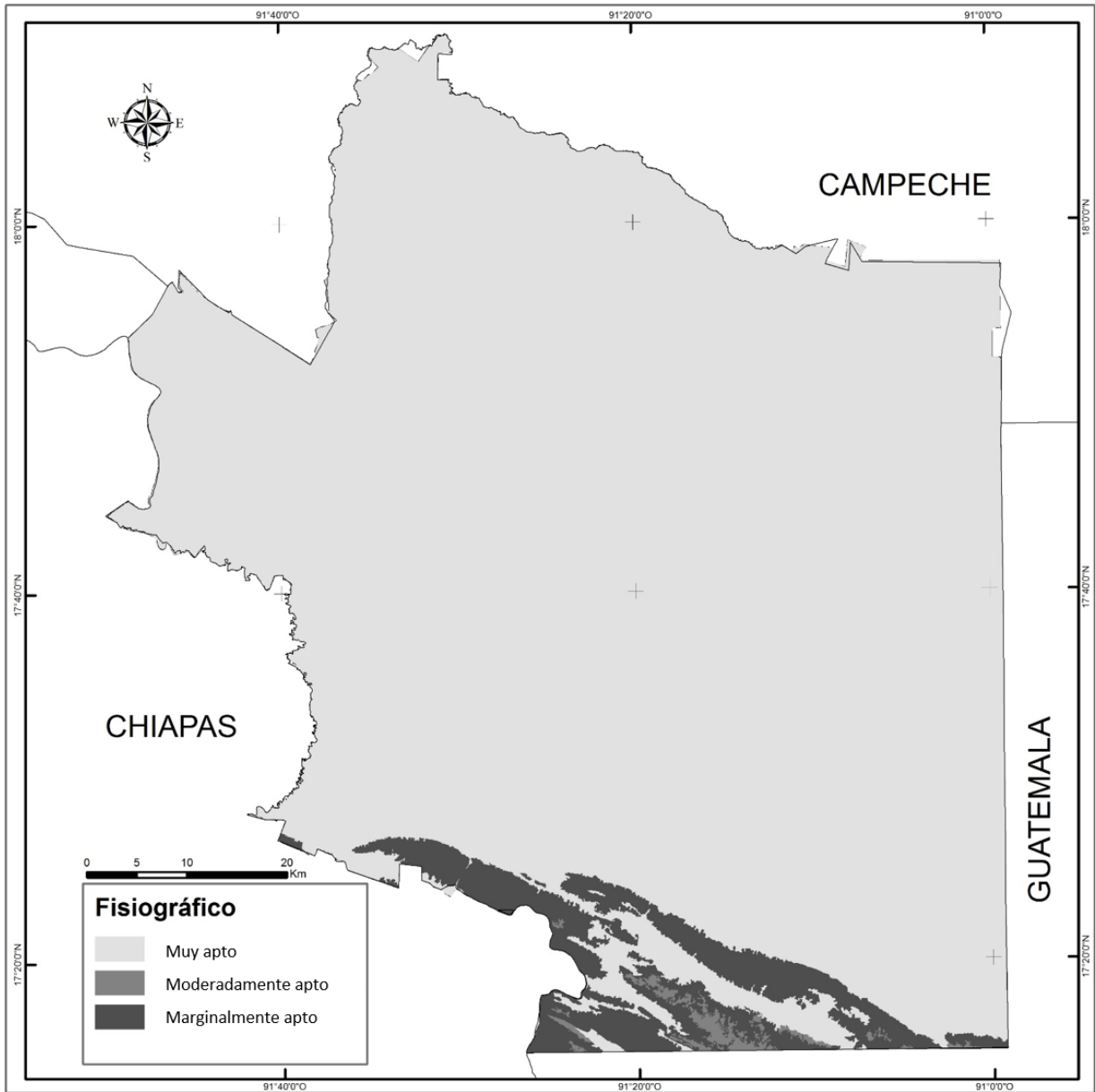


Figura 5. Mapa de aptitud Fisiográfica.

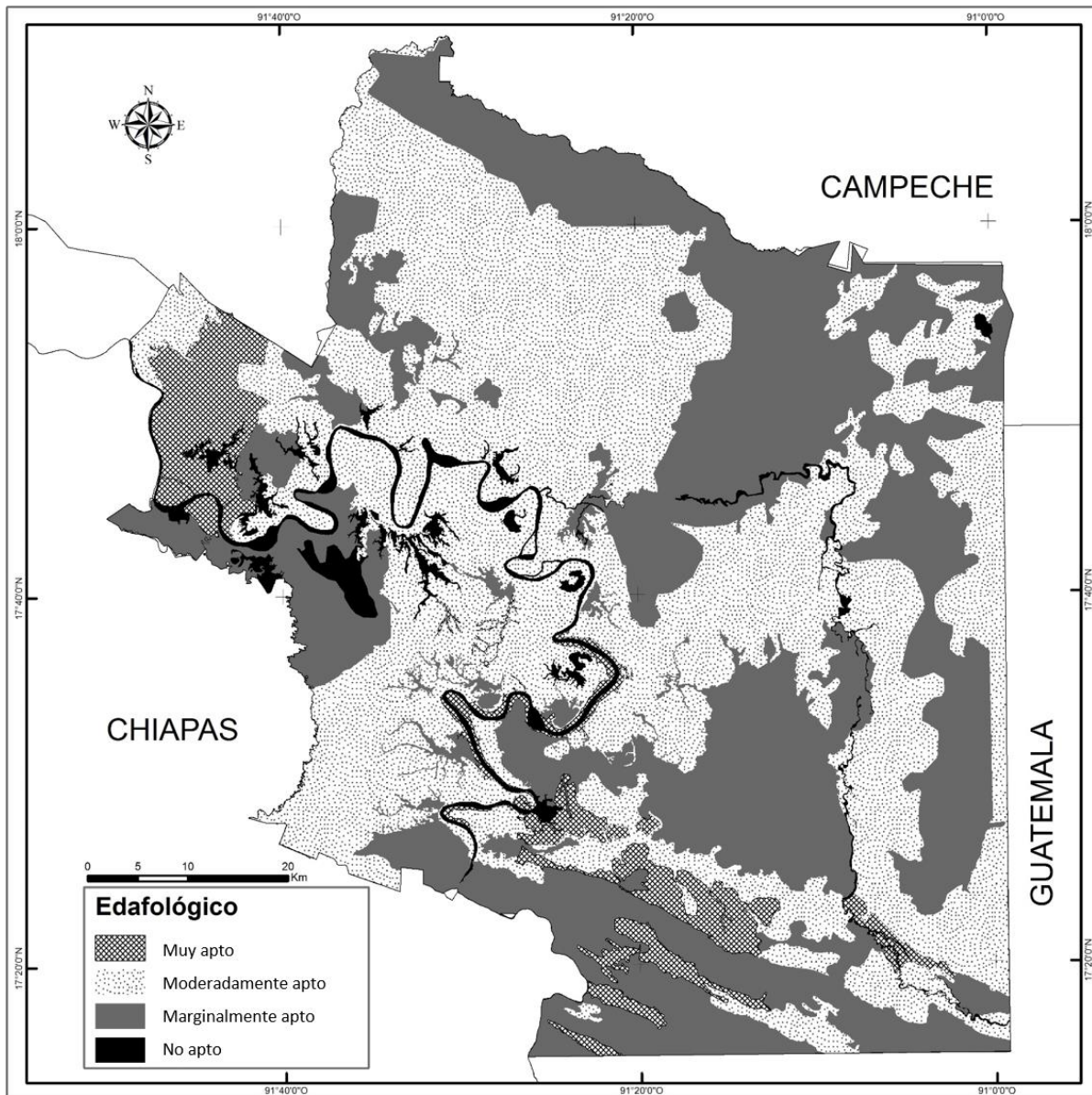


Figura 6. Mapa de aptitud edafologica.

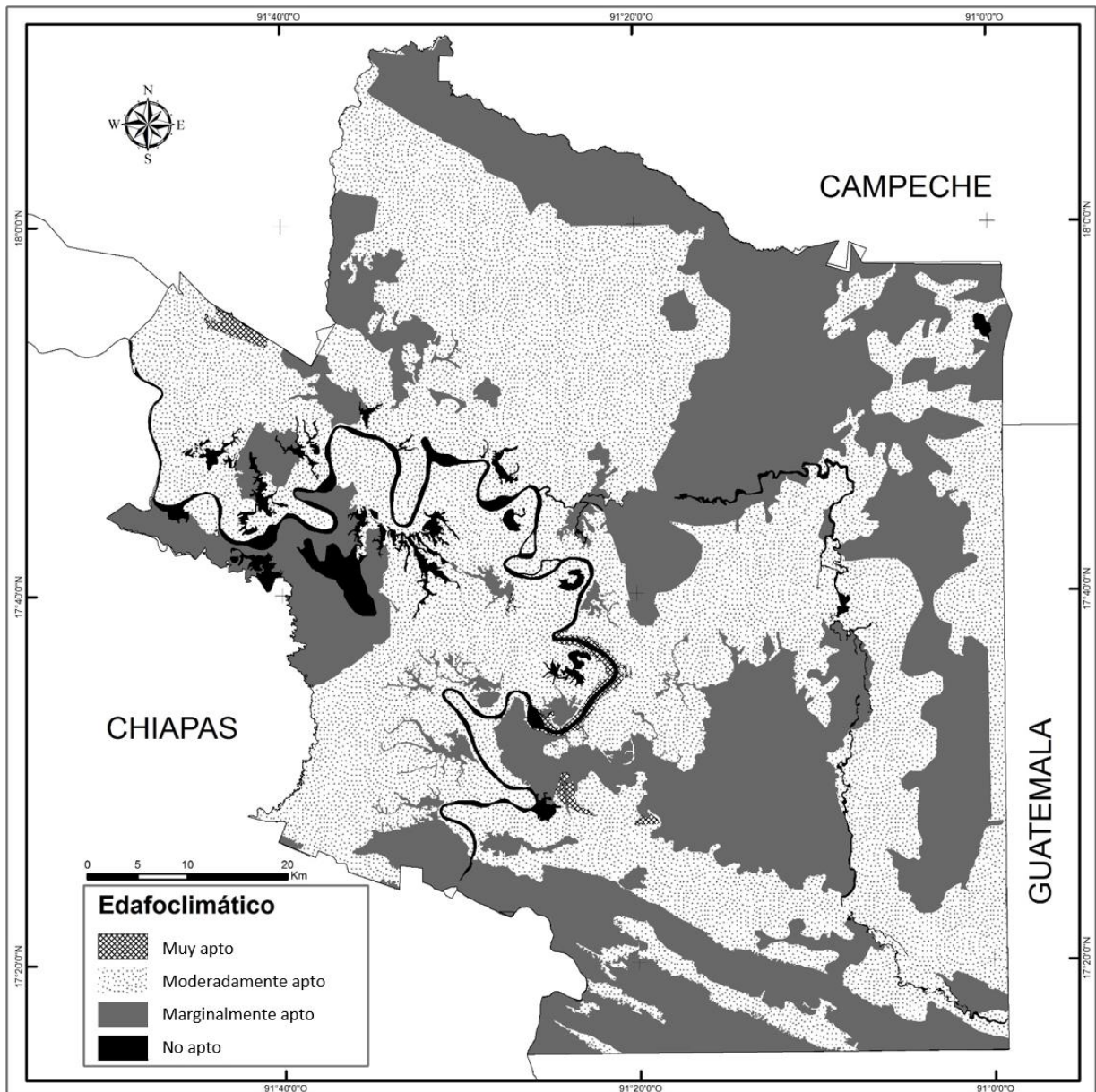


Figura 7. Mapa de aptitud edafoclimática.

1.5 DISCUSIÓN

Climáticamente, la temperatura en la subregión de los Ríos, es una variable que no limita el crecimiento de la teca. En cambio, la precipitación si afecta y demerita las zonas muy aptas disminuyéndolas a aptas en un 49 %. En cuanto a fisiografía, Lamprecht (1990), encontró altos rendimientos por debajo de los 100 msnm. Por su parte Vaides (2004), reporta valores óptimos a elevaciones menores a 220 msnm y pendientes inferiores al 40 %. En el caso de la subregión de los Ríos, esto representa el 94 % de la superficie.

Las variables edafológicas que más limitaron la aptitud para establecimiento de teca fueron la inundación, poca profundidad de suelo y poca fertilidad. Chaves y Fonseca (1991) y Vaides (2004), coinciden en que los factores señalados, son limitantes para su mejor crecimiento. Sin embargo, la inundación y la fertilidad pueden ser modificadas aplicando obras de drenaje y fertilización.

1.6 CONCLUSIONES

Para la subregión de los Ríos, Tabasco, a una escala de trabajo de 1:250,000 se concluye que la subregión de los Ríos tiene 3,309 ha muy aptas para establecer plantaciones de teca. Estas zonas calificadas como muy aptas, no tendrán deficiencias por factores edafoclimáticos. Por lo tanto, se esperan mejores producciones y disminución en el costo de establecimiento de la plantación forestal.

En la subregión de los Ríos, se determinó que existen 336,275 ha que resultaron ser aptas. Mismas que pueden ascender a muy aptas aplicando principalmente drenaje y fertilización.

El resto de la superficie (44 %) no se recomienda para establecimiento de plantaciones de teca, ya que presentan problemas con suelos pocos profundos, suelos mal drenados, manto freático alto y problemas de inundación recurrente.

1.7 LITERATURA CITADA

Castro, F. 2000. Crecimiento y propiedades fisicomecánicas de la madera de Teca *Tectona grandis* de 17 años de edad en San Joaquín de Abangares Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 24(2):7-23.

Chávez, E. y W. Fonseca. 1991. Teca, *Tectona grandis*, especie de árbol de uso múltiple en América Central. Serie Técnica. Informe Técnico N° 179. Colección de guías silviculturales. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 60 p.

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), 2013. Manual de Zonificación Ecológica de Especies Forestales y Aplicación de Modelos de Simulación del Efecto del Cambio Climático. P. 136

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), 2014a. Superficies de plantaciones forestales comerciales maderables establecidas en el periodo 2000-2014. [EN LINEA] Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/43/6022Superficies%20de%20plantaciones%20forestales%20comerciales%20maderables%20establecidas%20en%202000-2014.pdf>

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), 2014b. Superficies de plantaciones forestales comerciales no maderables establecidas en el periodo 2000-2014. [EN LINEA] Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/43/6023Superficies%20de%20plantaciones%20forestales%20comerciales%20no%20maderables%20establecidas%20en%202000-2014.pdf>

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), 2014c. Principales especies maderables establecidas en plantaciones forestales comerciales por año en el periodo 2000-2014. [EN LINEA] Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/43/6018Principales%20especies%20maderables%20establecidas%20en%20PFC%20por%20a%C3%B1o%20en%202000%20-%202014.pdf>

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), 2014c. Principales especies maderables establecidas en plantaciones forestales comerciales por Entidad Federativa en el periodo 2000-2014. [EN LINEA] Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/43/6019Principales%20especies%20maderables%20establecidas%20en%20PFC%20por%20Entidad%20Federativa%20en%202000%20-%202014.pdf>

Da Silva, G. B. y P. V. Azevedo. 2000. Potencial edafoclimático da “Chapada Diamantina” no estado da Bahia para cultivo de Cítrus. Rev. Brasileira de Agrometeorología 8:133-139.

ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

FAO, (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2007. Ecocrop I. [En línea] <<http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/dataSheet?id=2054>> [Consulta: 15/01/2015].

FAO-CP (Food and Agriculture Organization - Colegio de Postgraduados). 2005. Primera Revisión del Programa Estratégico Forestal 2025 y del Programa Nacional Forestal 2001-2006. UTF/MEX/056/ MEX. ANEXO 2. Contribución del PEF 2025 a la solución de problemas del sector forestal. Montecillo, México. pp: 1-41.

García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. Serie Libros, Num. 6. México D.F. 90 p.

IIASA/FAO (International Institute for Applied systems Analysis / Food and Agriculture Organization), 2012. Global Agro-ecological Zones (GAEZ v3.0). IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy. 196 p.

IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua), 2009. ERIC III 2.0. Extractor Rápido de Información Climatológica v.2.0.

- INEGI, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2012. Modelos digitales de elevación de alta resolución LiDAR. Escala 1:10,000.
- INEGI, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2015. Climatología. Disponible en línea: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/clima/default.aspx> consultado el 20 de junio de 2015.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Traducido por Antonio Carrillo. GTZ. Eschborn. 335 p.
- Jiménez, R. R. 2013. Clasificación y caracterización de suelos de Tabasco con base en el enfoque Geomorfopedológico. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. 143 p.
- Palma, L. D. J.; J. Cisneros; E. Moreno C.; J. A. Rincón R. 2007. Suelos de Tabasco: su Uso y Manejo Sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUBPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 195 p.
- Pérez, L.D y M. Kanninen. 2005. Stand growth scenarios for *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 190(2-3):425-441.
- Schimincke, K. H. 2000. Teak plantations in Costa Rica - Precious wood's experience. *Unasylva* 201 (51):29-35.
- Vaides, L. E. E. 2004. Características de sitio que determinan el crecimiento y productividad de Teca (*Tectona grandis* L. f.) en plantaciones forestales de diferentes regiones de Guatemala. CATIE. Costa Rica. 81 p.
- Velázquez M., A. 2009. Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México. Comisión Nacional Forestal-Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 472 p.

CAPITULO II. ÍNDICE DE SITIO CON BASE A FACTORES FISIOLÓGICO-CLIMÁTICO PARA TECA (*Tectona grandis* Linn F.) EN LA SUBREGIÓN DE LOS RÍOS, TABASCO.

ÍNDICE DE SITIO CON BASE A FACTORES FISIOLÓGICO-CLIMÁTICO PARA TECA (*Tectona grandis* Linn f) EN LA SUBREGIÓN DE LOS RÍOS, TABASCO.

Matías Hernández Gómez

Colegio de Postgraduados

Resumen

En México se tiene una meta de plantar 875,000 ha de plantaciones forestales comerciales para el año 2025. Pero desde el año 2000 hasta la fecha, apenas se lleva un total de 177,216 ha. Para lograr esa meta que estableció el Programa Estratégico forestal (PEF 2025) se necesita determinar zonas óptimas para cada especie y determinar la productividad que tendrá en cada sitio. Para estimar el crecimiento de una plantación forestal comercial en determinado sitio a una edad base, se utiliza el Índice de Sitio (*IS*) que representa la capacidad de un sitio para producir madera mediante la altura dominante y da como resultado la altura que alcanzaría la teca a una determinada edad. Por tal motivo la presente investigación consistió en determinar cómo se comporta espacialmente la productividad de Teca (*Tectona grandis* Linn F.) en la subregión de los Ríos, Tabasco, mediante ecuaciones de Índice de sitio. Se utilizó la siguiente ecuación que toma en cuenta variables climáticas y fisiográficas:

$$IS = 109.416 - 1.709 * (DEFHID) + 1.095 * (PTOP) - 3.211 * (TMA)$$

Se elaboraron mapas de precipitaciones menores a 100 mm, temperatura media anuales y posición topográfica. Se utilizó álgebra de mapas para multiplicar los mapas anteriores por las constantes de la fórmula dando como resultado tres clases: Índice de sitios menores a 15 m con una superficie de 249,838 ha, índice de sitio menores a 18 m con 285,961 ha y la última categoría con un índice de sitio de al menos 21 m con 38,834 ha; siendo esta la mejor superficie para establecer Teca, misma que se ubica hacia la parte sur de la subregión, cerca de la frontera con el estado de Chiapas.

IS de 21 m con 38,834 ha siendo los mejores sitios hacia la parte sur de la subregión, cerca del Estado de Chiapas.

Palabra clave: Índice de Sitio, Teca, *Tectona grandis*.

SITE INDEX BASED PHYSIOLOGICAL- CLIMATIC FACTORS FOR TECA
(TECTONA GRANDIS LINN F) IN THE SUBREGION OF RIVERS, TABASCO.

Matías Hernández Gómez

Colegio de Postgraduados

ABSTRACT

In Mexico we have a goal of planting 875,000 ha of commercial forest plantations for 2025 but since 2000 to date a total of 177.216 have just been carried. To achieve this goal set by the forest Strategic Program (PEF 2025) is needed to determine optimal areas for each species and determine the productivity for each site. To estimate the growth of a commercial forest plantation in a certain place at a basic age, site index is used to represent the ability of a site to produce wood by the dominant height. Therefore this research was to determine how the spatially productivity of Teak (*Tectona grandis* Linn F.) behaves in the subregion of the Rivers by site index equations. An equation that takes into account climatic and physiographic variables that presented below was used:

$$IS = 109.416 - 1.709 * (DEFHID) + 1.095 * (PTOP) - 3.211 * (TMA)$$

Maps under 100 mm rainfall, annual average temperature were drawn and topographic position. the latter category index smaller sites to 15 m with an area of 249.838 ha, index of smaller site to 18 m with 285.961 ha: It was used algebra t map to multiply the previous maps constants formula resulting in three classes with IS 21 m with 38.834 has to be the best sites to the southern part of the subregion, near the state of Chiapas.

Keyword: Site Index, teak, *Tectona grandis*, Tabasco.

2.1 INTRODUCCIÓN

En México se tiene una tendencia positiva en crecimiento de superficie de plantaciones forestales comerciales (PFC), esto inició con el Programa para el Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales (PRODEPLAN) en 1997 y a principios del año 2000 se estableció en el Programa Estratégico Forestal para México (PEF 2025) una meta de 875 mil hectáreas de Plantaciones Forestales Comerciales hacia el año 2025 (Velazquez, 2009). Del año 2000 hasta el año 2014 se han establecido 177,216 ha., muy por debajo de lo esperado para alcanzar la meta (CONAFOR, 2014). Con base a lo anterior, ha existido una necesidad de incrementar las plantaciones forestales comerciales pero, además de tener lugares óptimos para establecer PFC, también es importante determinar cuál será el crecimiento de la masa forestal en dicho lugar. Una de las herramientas para estimar el crecimiento de las PFC en determinados sitios, es el Índice de Sitio (IS). Van Laar y Akca (2007) definen al IS como la capacidad de un determinado lugar para sustentar el crecimiento de los árboles, es decir, es una forma de calificar cuantitativamente la calidad de un sitio para producir madera mediante la altura de los arboles dominantes que alcanzan a cierta edad. Para calcular la productividad, es necesario construir familias de curvas desde un patrón de altura dominante observado (Pretzsch, 2009). La presente investigación mostrará espacialmente cómo se comporta la productividad de Teca (*Tectona grandis* Linn F.) mediante ecuaciones basadas en requerimientos edafoclimáticos propuesto por Montero (1999).

2.2 OBJETIVO

El objetivo de la presente investigación es determinar espacialmente la productividad de Teca (*Tectona grandis* Linn F.) mediante un índice de sitio edafoclimático en la subregión de los Ríos, Tabasco.

2.3 METODOLOGÍA

2.3.1 Área de estudio

El sitio de estudio se localiza en la subregión de los Ríos, del estado de Tabasco, integrada por los municipios de Balancán, Tenosique y Emiliano Zapata. Se encuentra entre las coordenadas geográficas 18°11'53.32" N con 91°49'30" O y 17°14'56" N con 90°59'7" O (Figura 8).

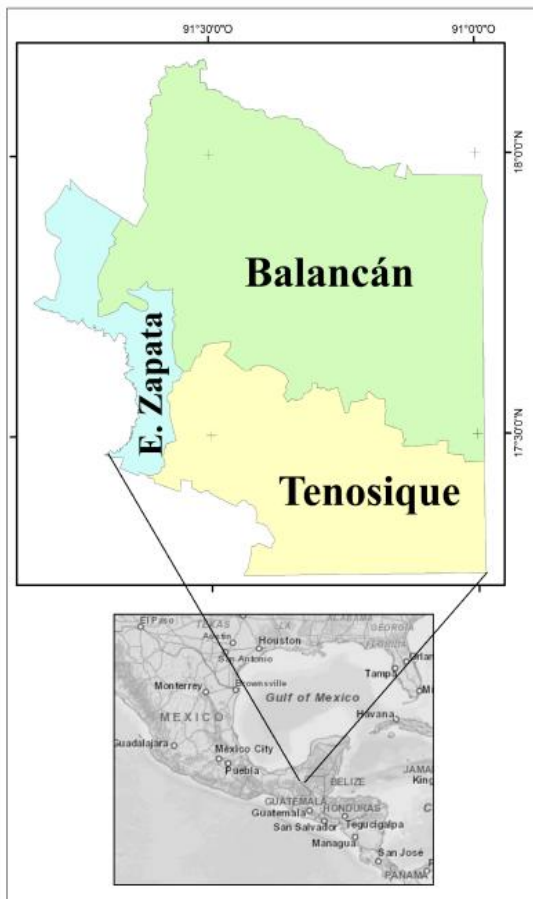


Figura 8. Localización del área de estudio.

2.3.2 Materiales

Para el análisis espacial se utilizó un software en Sistemas de Información Geográfica (SIG) llamado ArcGIS v. 10 (ESRI, 2011). Así como normales meteorológicas obtenidas del software ERIC III v.2 (IMTA, 2009) y un modelo digital de elevación tipo terreno con pixeles de 30 metros (INEGI, 2012).

2.3.3 Condiciones climáticas y edáficas

El clima que predomina es cálido húmedo y una parte al Este del estado de Tabasco es cálido subhúmedo (INEGI, 2015). Tiene temperaturas medias de 32.4 °C (máxima) y 21.2 °C (mínima). La precipitación total anual va desde los 1,550 hasta los 2,334 mm (IMTA, 2009). La fisiografía está compuesta por zona sierra, lomeríos, vega de río, calcáreas y llanura de aluvial (Palma *et al.*, 2007). Los grupos de suelos predominantes en la región son Vertisoles, Leptosoles, Luvisoles, Lixisoles, Fluvisoles, Gleysoles, Cambisoles, Acrisoles, Arenosoles, Calcisoles, Ferralsoles y Histosoles (Jiménez, 2013).

2.3.4 Índice de sitio

Para la determinación del índice de sitio se utilizó la ecuación propuesta por Montero (1999) el cual se plantea de la siguiente forma:

$$IS = 109.416 - 1.709 * (DEFHID) + 1.095 * (PTOP) - 3.211 * (TMA)$$

Donde;

IS = Índice de sitio (m)

DEFHID = Meses menores a 100 mm

PTOP = Posición topográfica

TMA = Temperatura media anual en °C

Para realizar el mapa de DEFHID, se utilizó la información de 17 estaciones meteorológicas que proporcionó información de precipitación en más de 20 años. Se promediaron los valores por cada mes y se interpolaron con el método Kriging. Se homogenizaron los pixeles a 30 metros y mediante algebra de mapas se sumaron los meses que tuvieran menos de 100 mm.

La Posición topográfica es el tipo de relieve en donde se plantará la teca. Se determinaron 4 clases de topografía. Los terrenos planos, o casi planos se les asignaron el valor de 4. Los ondulados o de pendiente inferior 3, los fuertemente ondulados o de pendiente media 2 y las colinas con pendientes muy pronunciadas con el valor de 1. Para poder caracterizar estos tipos de relieves se utilizó la metodología mencionada por Zinck (2012) donde, a partir de un modelo digital de elevación se calculó la pendiente. De la pendiente calculada se reclasificaron en 4 segmentos. El primer segmento corresponde a planicies y son todos aquellos que tiene una pendiente menor a 2 %. El segundo segmento serían los ondulados con pendientes de 2 a 8 %. El tercero los fuertemente ondulados con pendientes de 8 a 16% y el ultimo los colinosos con pendientes arriba de 16 % (Cuadro 3).

Cuadro 3. Forma de la topografía

Clases	Pendiente %
Plano o casi plano	0-2
Ondulado	2-8
Fuertemente ondulado	8-16
Colinoso	16-30
Fuertemente disectado	>30
Montañoso	>30

La temperatura media anual se generó a partir de 12 estaciones meteorológicas con más de 30 años de información. Se realizó el promedio anual de temperaturas máximas y mínimas y se interpoló con el método de Kriging.

Teniendo las variables se utilizó la herramienta de algebra de mapas para introducir la formula y multiplicar las constantes contra los mapas variables.

2.4 RESULTADOS

El análisis espacial realizado sobre la subregión de los Ríos, considera factores de clima y relieve dando como resultado tres tipos de productividad representado en altura de la Teca a una edad de 10 años (Figura 9).

La primera clase son de máximo 15 metros de altura y se conforma por el 46 % del total de la superficie de la subregión de los Ríos (281,151 ha). Municipalmente le corresponde a Emiliano Zapata 27 %, a Tenosique 50 % y a Balancán 39 % respecto a la superficie total de los mismos municipios. La principal limitación por la que se ve afectado el crecimiento es por pendientes muy altas hacia la zona sur y por deficiencia hídrica en la parte norte y noreste.

La segunda clase tiene máximo 18 metros de altura. Ocupa el 47 % de la superficie total de la subregión de los Ríos (285,961 ha). Al municipio de Emiliano Zapata le corresponde el 48 %, Tenosique 31 % y Balancán 56 % respecto a la superficie total de los mismos municipios. Está dentro de la superficie que intersecta con la precipitación óptima y sobre relieves menores a 8 % de pendientes.

La tercera clase tiene como mínimo 21 metros de altura, es decir, según el modelo se esperan crecimientos de hasta 21 metros en adelante. Se entiende como la superficie que mejor se recomienda para plantaciones de Teca (*Tectona grandis* Linn F.). Ocupa una superficie de 6 % respecto al total de la subregión de los Ríos (38,834.47 ha). Por municipios se divide en 12 % para Emiliano Zapata, 15 % para Tenosique y para Balancán 1 %. Estas áreas se ubican principalmente al sur de la subregión, hacia el Estado de Chiapas pero en relieves planos o casi planos a ondulados. Las zonas que no tienen problemas de precipitación, que están a menos de 100 metros de altura y con pendientes suaves han sido las de mejor aptitud para establecimiento de Teca (*Tectona grandis* Linn F.).

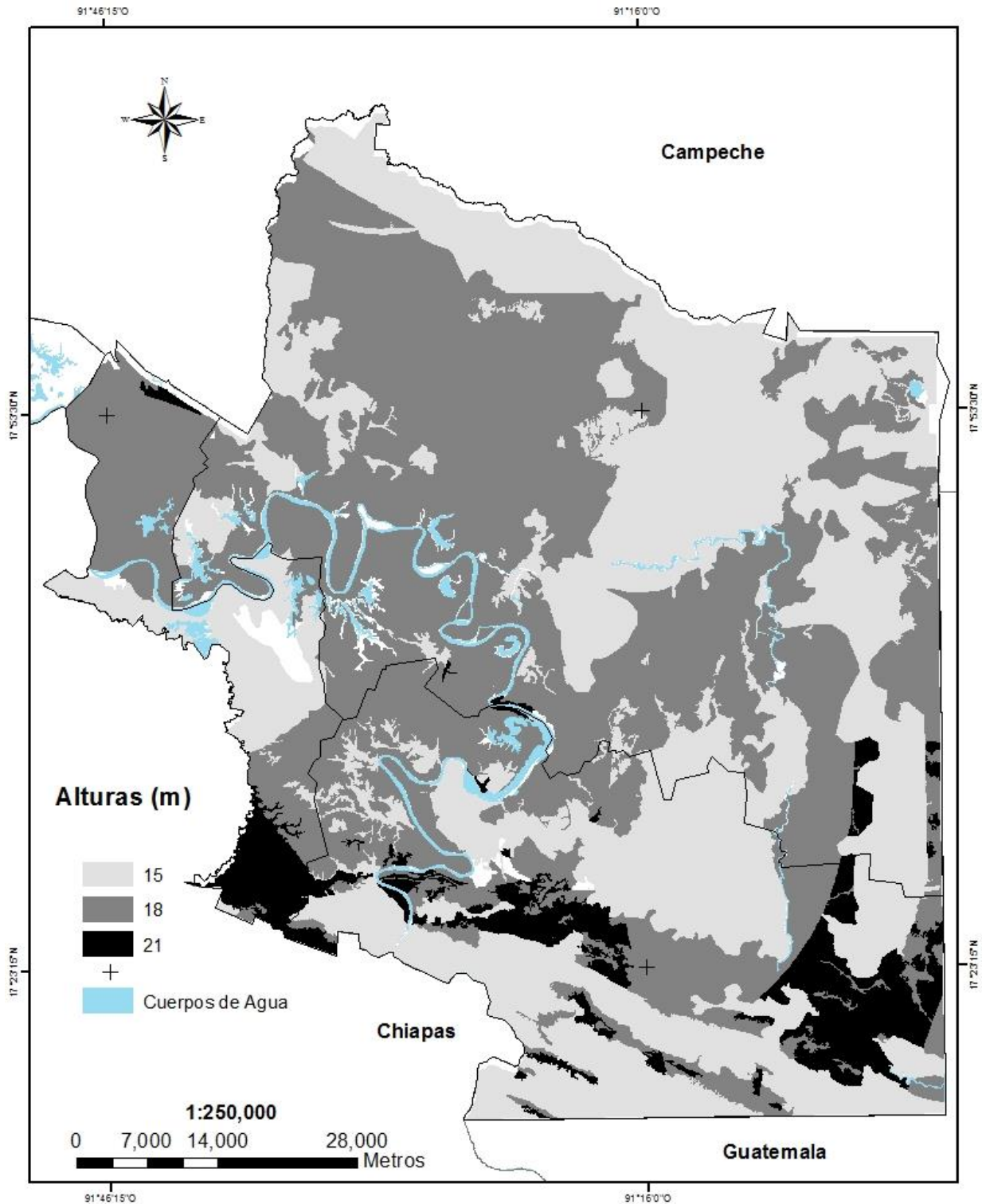


Figura 9. Mapa de Índice de Sitio para Teca (*Tectona grandis* Linn F.) en la subregión de los Ríos, Tabasco, México.

2.5 DISCUSIONES

En Brasil se han encontrado alturas de 13.5 m a una edad de 13 años y son similares a datos reportados por Pérez y Kanninen (2003) en Costa Rica a edades entre 5 y 12 años (Blanco *et al.*, 2014). En Venezuela se han encontrado alturas entre los 15 m hasta los 27 m en 15 años (Jerez, 2011). En México, en el Valle de Edzná, estado de Campeche, ubicado a 200 km del área de estudio de la presente investigación, se realizó un estudio de índice de sitio con base a ecuaciones dinámicas bajo diferencia algebraica generalizada basado en el modelo de Chapman-Richards, encontrando predicciones de alturas entre 10 m hasta 18 m a una edad base de 10 años, siendo las condiciones de temperatura media de 26.6 °C, promedio anual de 1094.7 mm de precipitación y seis meses de sequía (Tamarit-Urias *et al.*, 2014). Estos valores de altura están dentro de los rangos encontrados en el análisis espacial con diferencia en que las alturas estimadas más altas (>21 m) se ubican en zonas de mayor precipitación, siendo en las parte sur de la subregión de los Ríos, Tabasco.

Mollinedo *et al.* (2005), encontró que la variable pendiente y pedregosidad en la mayoría de los sitios analizados, tienen un desarrollo aceptable. Sin embargo, añade que establecer plantaciones en categorías de pendiente mayor a 40 % induce a la degradación de suelos, especialmente en sitios con estructura más susceptible a la erosión. En ese sentido, la variable pendiente se consideró un factor importante para la implementación del modelo de IS, aclarando que en altas pendientes la Teca puede crecer bien pero para efectos de plantaciones forestales no se recomienda.

2.6 CONCLUSIONES

Las mejores zonas para establecer plantaciones de Teca (*Tectona grandis* Linn F.) según los resultados de productividad del modelo de Índice de Sitio se ubican al sur de los municipios de Tenosique y Emiliano zapata sobre relieves ondulados a planos.

La aplicación del análisis espacial sobre el modelo para calcular índice de sitio es una herramienta que brinda una estimación del desempeño que podría tener la Teca en un determinado sitio bajo las características climáticas y fisiográficas que limitan la plantación.

2.7 LITERATURA CITADA

Blanco F. J., Fernando T. P., Tarcisio L. J., Gherardi H. P. R., Moreira da S. J. R. 2014. Caracterización de la madera joven de *Tectona grandis* L. f. plantada en Brasil. *Madera y bosques*, 20(1), 11-20.

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), 2014. Superficies de plantaciones forestales comerciales maderables establecidas en el periodo 2000-2014. [EN LINEA] Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/43/6022Superficies%20de%20plantaciones%20forestales%20comerciales%20maderables%20establecidas%20en%202000-2014.pdf>

ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

IMTA, (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2009. ERIC III 2.0. Extractor Rápido de Información Climatológica v.2.0.

INEGI, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2012. Modelos digitales de elevación de alta resolución LiDAR. Escala 1:10,000.

INEGI, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2015. Climatología. Disponible en línea: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclat/clima/default.aspx> consultado el 20 de junio de 2015.

Jerez-Rico, Mauricio. 2011. Curvas de índice de sitio basadas en modelos mixtos para plantaciones de teca (*Tectona grandis* L. F.) en los llanos de Venezuela. *Agrociencia* [online]. vol.45, n.1, pp. 135-145. ISSN 1405-3195.

Jiménez, R. R. 2013. Clasificación y caracterización de suelos de Tabasco con base en el enfoque Geomorfopedológico. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. 143 p.

- Mollinedo M., Ugalde L., Alvarado A., Verjans J.M., Rudy L.C. 2005. Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* L.f.), en la zona oeste de la cuenca del Canal de Panamá. *Agronomía Costarricense* 29(1):67-75
- Montero M. 1999. Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L.f. y *Bombacopsis quinatum* (Jacq). Dugand en Costa Rica. Tesis de Maestría, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 111 p.
- Palma, L. D. J.; J. Cisneros; E. Moreno C.; J. A. Rincón R. 2007. Suelos de Tabasco: su Uso y Manejo Sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUBPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 195 p.
- Pérez, L.D. y M. Kanninen. 2003. Heartwood, sapwood and bark content, and wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica. *Silva Fennica* 37(1):45-54.
- Pretzsch, H. 2009. Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model. Springer. Berlin, Germany. 664 p.
- Tamarit-Urías J. C., H. M. De los Santos-Posadas, A. Aldrete, J. R. Valdez-Lazalde, H. Ramírez-Maldonado y V. Guerra-De la Cruz. 2014. Ecuaciones dinámicas de índice de sitio para *Tectona grandis* en Campeche, México. *Agrociencia* 48:225-238.
- Van Laar A, A Akça (2007) Forest Mensuration. Managing Forest Ecosystems, Volume 13. Springer. 383 p.
- Velázquez M., A. 2009. Situación Actual y Perspectivas de las Plantaciones Forestales Comerciales en México. Comisión Nacional Forestal-Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 472 p.

Zinck, J. A. 2012. Geopedología. Elementos de Geomorfología para Estudios de Suelos y de Riesgos Naturales. ITC Special Lecture Notes Series. Enschede, The Netherlands. 123 p.